粉砂质海岸大风天泥沙运动研究

边淑华,胡泽建,迟万清,刘建强

(国家海洋局 第一海洋研究所,山东 青岛 266061)

摘要:根据黄河三角洲五号桩海域6级大风前后现场悬沙、沉积物和实测水流资料,研究了淤泥质粉砂海岸大风过程后泥沙分布特征和运动规律。发现大风天气海底泥沙对波浪作用反应灵敏,悬沙和底沙分布规律与波浪作用吻合,为波浪作用下海底泥沙运动的理论研究以及海区工程开发提供了科学依据。

关键词:粉砂;大风天;泥沙运动;波浪

中图分类号:TU41;TU43　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-3096(2007)12-0004-05

黄河三角洲由黄河入海泥沙沉积而成,组成物质成分均一,为淤泥质粉砂,并以粗粉砂(0.063～0.016 mm)含量最高(大于60%),黏土含量3%～18%[1,2]。这种类型的土体在自然静止状态下,由于较长时间的排水固结,粉砂颗粒之间摩擦力大,且粘土矿物与粉粒一起,形成结构力作用,从而使土体强度和稳定性增强。在一般天气情况下,由于土体间结构力的作用,海底泥沙活动有限,水体较清,而较大波浪的循环作用会将土体结构打破,破坏了原有的结构力[3],使海底泥沙发生骤然起动、侵蚀,从而使波浪成为海底泥沙运动的主要影响因素。

黄河三角洲海域风浪频发,经常出现6级以上大风。大风天时,由于风浪较大,黄河三角洲近岸海域海底侵蚀加剧,水体含沙量急剧增高,对石油平台桩基、海底管线、港口堤坝冲刷稳定性以及港池、航道的淤积都有较大影响。但由于现场观测困难较大,目前大风天气情况下泥沙运动的研究较少,仅对含沙量做过一些定点的测量工作[4]。

黄河三角洲五号桩海区是废弃的老黄河三角洲岸段,在现黄河口以南约7 km,受黄河来沙影响较小。胜利采油七队在潮滩围堰,进行石油开采,并在五号桩堤坝处留出水口。山东省东营市拟在此建设中心渔港,受其委托国家海洋局第一海洋研究所于2005年春季一次大风前后在黄河三角洲五号桩海区进行了海底沉积物、水体含沙量以及水流的现场观测,本文即根据本次现场观测和分析结果对粉砂质海岸大风天泥沙运动规律进行研究。

1　现场取样及天气情况

2005年4月20日黄河三角洲海域刮起6级大风,风向NW向,在五号桩海区产生了1.0～1.5 m的大浪[5]。4月21日风停伊始,即进行了悬沙大面走航观测、取样。为尽量消除流速影响,走航取样控制在涨急时刻前后各3 h进行,取样线路主要沿3个与岸垂直的剖面进行,水深较大处悬沙取两层,水深较浅的地方取一层。4月22～23日,大风对水体悬沙的影响基本消除,水体变清,又进行了一般天气情况下悬沙大面取样观测,并进行了水流、悬沙定点观测,其中悬沙大面取样线路和层次与大风过后相同(图1)。

4月21～24日进行海底沉积物取样(图1),并进行了实验室粒度分析。

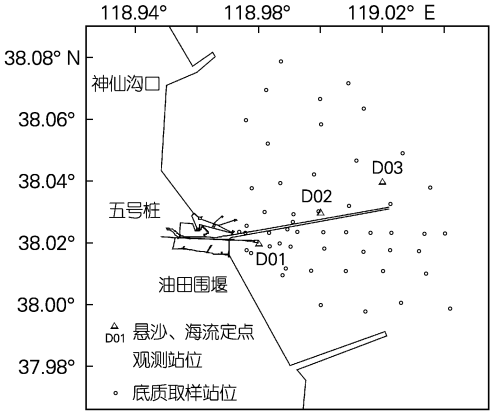

图1　研究区取样位置示意

Fig.1　The study area and sample positions

收稿日期:2005-10-26;**修回日期**:2007-08-28

基金项目:山东省博士基金资助项目(2006BS07004)

作者简介:边淑华(1973-),女,河北唐山人,助研,博士,主要从事海岸动力地貌、近岸泥沙运动方面的研究和应用工作,**电话**:0532-88969911,E-mail:bianshuhua@fio.org.cn

2 泥沙特征

2.1 海底沉积物类型及分布

根据本次取样调查分析结果,研究区海底沉积物以黏土质粉砂(YT)或粉砂质黏土(TY)为主,在整个海域都有分布,颗粒稍粗的砂质粉砂(ST)分布也较为广泛,粉砂质砂(TS)、细砂(FS)和砂(S)等较粗的海底沉积物在局部范围有所出现(图 2)。

海底沉积物的平面分布呈不规则条带型,分布趋势基本与岸平行。4 m 以深海区沉积物细,类型较为单一,全部是粉砂类物质,中值粒径大于 4Φ,砂含量小于 15 %,粉砂和黏土含量大于 85 %,以粉砂为主。4 m 以浅海区沉积物类型较多,有 S、FS、TS、ST、粉砂(T)、YT、砂粉砂质黏土(STY)和 TY 等多种类型,总体上以砂或含砂沉积物为主,粉砂黏土含量偏低,沉积物较 4 m 以深水区有明显的粗化现象。各粒级组分含量变化大,1～2 m 等深线之间为砂质沉积物,颗粒最粗,中值粒径 3Φ～5Φ,砂粒级组分大于 75 %,粉砂和黏土含量小于 25 %,其中黏土含量不足 3 %。

0.5～1 m 水深处沉积物最细,该细颗粒沉积区呈不规则圆形,中值粒径大于 8Φ,砂含量不到 8 %,粉砂和黏土含量超过 92 %,其中黏土含量 40 %以上(图 2)。

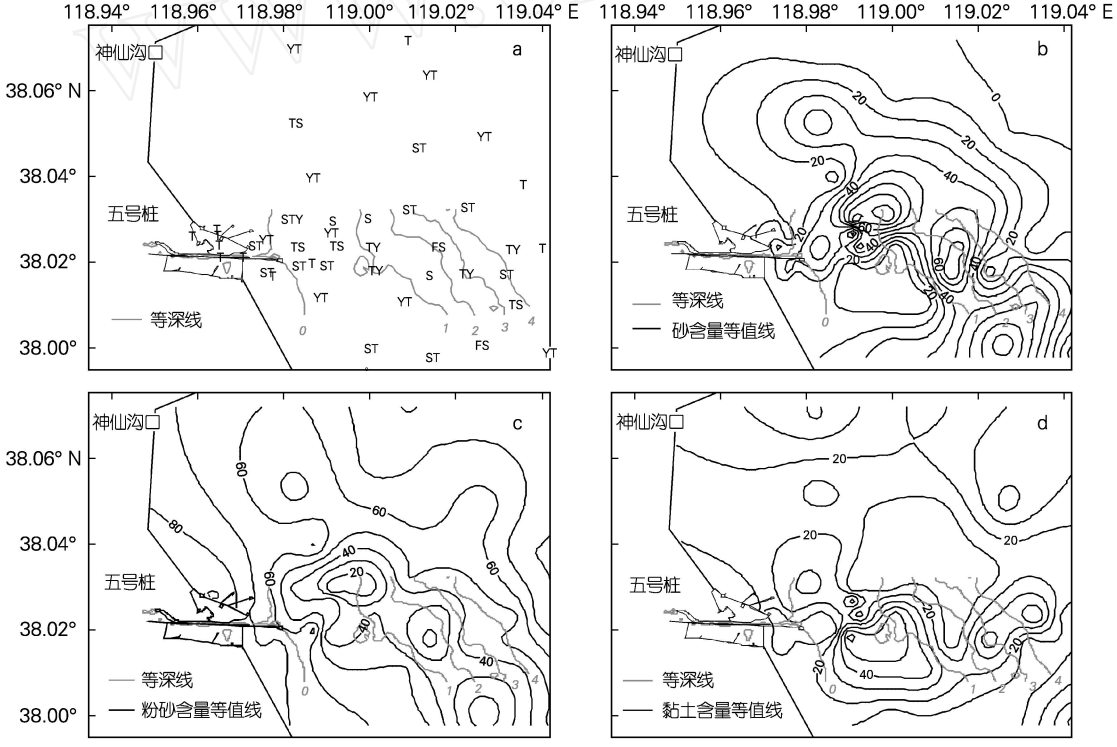

图 2 黄河三角洲五号桩海区海底泥沙类型及粒组含量等值线

Fig. 2 The type and percentile contour of the sediment at Wuhaozhuang on the Yellow River Delta

a. 沉积物类型;b. 砂含量等值线;c. 粉砂含量等值线;d. 黏土含量等值线

a. The sediment type; b. Sand content isotope; c. Silt content isotope; d. Clay content isotope

2.2 水体含沙量及分布

在一般天气情况下,黄河三角洲五号桩海域水体较清,根据大面积悬沙测量结果,水体含沙量 15～215 mg/L,近岸大于远岸,底层大于表层或表底层相当(图 3)。风浪过后,研究区水体含沙量急剧升高,为 20～1 230 mg/L,大部分区域是无风情况时的 6～10 倍,个别站位增大 20 倍以上,底层含沙量远远大于表层含沙量。

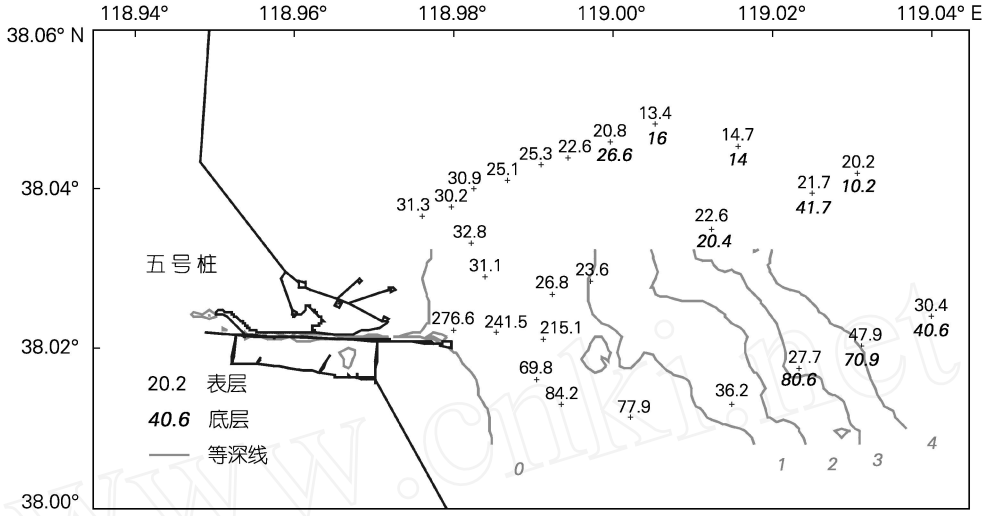

图 3　研究海区一般天气情况下悬沙大面分布

Fig. 3　The suspension content distribution in normal weather of the study sea area

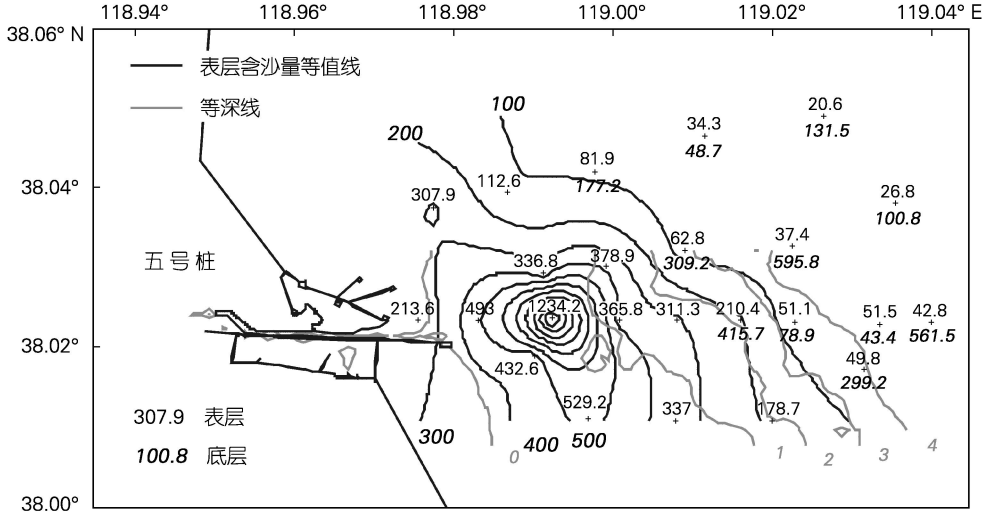

图 4　研究区风浪情况下悬沙大面分布

Fig. 4　The suspension content distribution of the study sea area after a storm

除个别区域外,含沙量由岸向海减小,一般天气时多呈渐变过程,大风天时近岸水域含沙量高,水体较浑,远岸水体含沙量低,水体较清,出现清水和浑水界线。该界线与等深线基本平行,表层约在 3 m 水深左右,底层约在 4 m 水深处(图 3,图 4)。

大风天和一般天气情况下,含沙量最高值均出现在堤坝外侧 0.5～1 m 水深之间,以浑水团的形式出现,一般天气情况时浑水中心含沙量 215.1 mg/L,大风天时为 1 234.2 mg/L(图 3,图 4)。

3　粉砂质岸段泥沙运动的风浪作用

泥沙运动是潮流和波浪共同作用的结果。在黄河三角洲海区,强流区主要分布在 5～15 m 水深处[6],近岸水域海流流速较小,本次在观测区内实测流速不超过 40 cm/s(表 1),不足以起动海底泥沙。因而本区近岸泥沙运动以波浪作用为主,波浪的大小直接影响着底沙和悬沙特征,"波浪掀沙"作用非常强。由于泥沙、波浪本身及作用过程的复杂性,波浪作用下泥沙运动难以实现精确的定量研究,而多将各

种条件概化,进行半定量研究,或通过某些指标来衡量波浪对泥沙运动的影响。在此,作者通过波浪底切力、破碎水深及泥沙活动水深对黄河三角洲五号桩海区风浪对淤泥质粉砂海岸近岸泥沙运动的作用进行分析。

表1 实测涨、落潮流最大海流流速及流向

Tab.1 The maximum velocity and degree of the measured current

站号	层次	落潮		涨潮	
		流速 (cm/s)	流向 (°)	流速 (cm/s)	流向 (°)
D01	表层	20	338	19	156
D02	表层	25	331	24	157
D03	表层	40	337	35	154
	底层	37	333	32	147

3.1 波浪底部切速及其横向分布

波浪对底床的作用是通过底部切力来实现的[7],在破波带之外,衡量波浪对泥沙冲刷作用的摩阻流速 U_* 为:

$$U_* = \sqrt{f_w}\frac{\pi H}{2T\mathrm{sh}(kd)}$$

波浪破碎后,摩阻流速 U_* 为

$$U_* = 0.697\beta\sqrt{gd}$$

上述各式中,τ_b 为波浪底切力,U_* 为摩阻流速,f_w 和 β 为系数,H 为波高,T 为周期,d 为水深。

由上式可以看出,在同一水深处波浪对底床的作用力与波高正相关,在破波带以外与水深负相关,破波带以内与水深正相关。波高增大,则波浪对底床作用增强,可以掀动更多的海底泥沙,从而海底沉积物变粗,而水体含沙量增高。在破波带以外,水深变浅则使波浪对海底作用增强,更有利于海底沉积物起动;破波带以内,波浪底部摩阻流速则与水深呈0.5倍指数正相关,水深减小,波浪对海底作用逐渐减小,泥沙起动减弱。

3.2 波浪破碎水深

波浪破碎水深是衡量泥沙强烈活动带的指标,由波浪破碎产生的巨大能量消耗可以使更多的海底泥沙发生运动。Sunamura[8]根据在大波槽实验中获取的资料,给出了计算破波波高和波浪破碎水深的经验公式:

$$\frac{H_b}{d_b} = 1.09(\tan\beta)^{0.19}\left(\frac{d_b}{L_0}\right)^{-0.1}$$

$$\frac{H_b}{H_0} = (\tan\beta)^{0.2}\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0.25}$$

式中,H_b 为破波波高,d_b 为破波水深。β 为海滩坡度,此处取1/500。H_0 为深水波高,L_0 为深水波长,此处参考黄河三角洲海域有风和无风时的波浪统计结果取值。

计算结果显示,一般天气情况下,五号桩海区波浪在0.3～0.5 m水深处破碎,仅0.2 m或0.5 m以浅海底泥沙强烈活动,而大风天气时破碎水深外推至1～1.5 m水深处,及1.5 m水深以浅的泥沙均可以发生强烈活动(表2)。

表2 破碎波高和破碎水深计算结果

Tab.2 The computed breaking wave height and depth

天气状况	$H_{1/10}$(m)	$T_{1/3}$(s)	H_b(m)	d_b(m)
一般天气	0.2	4	0.16	0.26
	0.5	4.5	0.34	0.56
大风天气	1	4.8	0.59	1.03
	1.5	5	0.82	1.47

3.3 泥沙活动水深

表层活动水深(h_1)系指海底泥沙在波浪作用下,仅表面一个颗粒厚度的泥沙处于开始活动状态水深;显著活动水深(h_2)则是指泥沙在波浪作用下有几个颗粒厚度的泥沙开始活动的水深。波浪作用下海底泥沙产生表面推移和全面推移的临界水深可按佐藤公式[9]求取。

李平、朱大奎[6]对黄河三角洲海域波浪作用下泥沙活动水深进行了估算,得出一般天气时研究区主要是约1.6 m以浅的泥沙发生显著活动,3 m以浅的泥沙表层可以活动;大风天时则4～6 m以浅水域的泥沙均可以显著活动,泥沙表层活动水深可达10 m(表3)。

表3 黄河三角洲五号桩海区泥沙活动水深[6]

Tab.3 The movement depth of the sediment of Wuhaozhuang, the Yellow River Delta

天气状况	H(m)	T(s)	h_2(m)	h_1(m)
大风天气	1.5	5.17	6.59	10.76
	1.3	5.08	5.62	9.52
	1.1	4.92	4.63	8.12
一般天气	0.5	3.53	1.56	2.97
	0.3	3.02	0.75	1.52

3.4 泥沙运动的风浪作用分析

由上述分析、计算可知,黄河三角洲五号桩海区水域泥沙特征对风浪反应极为灵敏,泥沙活动与波浪作用程度相吻合。

首先,4 m以浅海区海底沉积物粗化、海域悬沙浓度增加就是风浪时波浪底切力增大,对海底细颗粒

泥沙起动作用增强所致,并且沉积物粗化界线以及悬沙浑水和清水分界线与风浪时波浪作用的泥沙显著活动水深基本吻合。

再者,波浪破碎带与最粗沉积物分布带区吻合。波浪对海底作用最强的地带,海底细颗粒泥沙起动程度最大,水深 1～2 m 处海底沉积物中粉砂和黏土等细颗粒泥沙含量不足 20 %,而砂含量超过 80 %。

最后,海底沉积物由岸向海由细变粗、再由粗变细以及含沙量由小变大、又由大变小的过程则与波浪底切力和摩阻流速在破波带两侧随水深正、负相关的变化过程相对应。

需要提出的是,含沙量高值区则与最粗海底泥沙分布带也就是波浪破碎带的分布并不完全吻合,可能与五号桩油田潮滩上纳潮量在围堤出口处集中外泄,受波浪作用顶托,产生的最大浑浊带有关。

4 结论

黄河三角洲五号桩粉砂淤泥质海岸泥沙运动和特征对大风过程反应灵敏。大风过后,近岸 4 m 以浅海底沉积物粗化明显,水体含沙量较一般天气时增高 6～10 倍,为风浪时波浪底切力和底部摩阻流速增大所致。

海底沉积物和含沙量多呈与等深线平行的条带状分布,4 m 以深海域海底沉积物细,水体较清,含沙量低;4 m 海底沉积物粗化明显,含沙量高,由岸向海海底沉积物逐渐变粗又逐渐变细、含沙量逐渐增大又逐渐减小,其中 1～2 m 水深处海底沉积物最粗,0.5～1 m 水深处水体含沙量最高。其中粗、细沉积物和浑、清水界限与波浪作用下泥沙显著活动水深一致,沉积物最强粗化带则与波浪破碎水深吻合,而底沙粗细和含沙量由岸向海的变化则与波浪底切力的横向沿程变化有关。

以往的经验认为底沙分布是一个长期平衡的过程,而本次研究结果表明在粉砂质海岸,底沙分布对大浪反应迅速,底沙和悬沙分布规律与本次波浪作用吻和较好,说明在细颗粒的淤积质粉砂岸段,海底泥沙可能仅代表一次大风过后的情况,保持时间可能较短,在另一次大浪过后即被改造。

参考文献:

[1] 李安龙,杨荣民,曹立华,等. 近代黄河水下三角洲的差异侵蚀及土工特性[J]. 青岛海洋大学学报,2001,**31**(3):435-440.

[2] 臧启运. 黄河三角洲近岸泥沙[M]. 北京:海洋出版社,1996.

[3] 许国辉,常瑞芳,李安龙,等. 波浪作用下粘质粉砂底床形态变化的实验研究[J]. 黄渤海海洋,2000,**18**(1):19-26.

[4] 周长江,申宪忠. 黄河海港海洋环境[M]. 北京:海洋出版社,2001.

[5] 滕学春,吴秀杰. 黄河海港附近海域风与浪的经验关系[J]. 黄渤海海洋,1989,**7**(3):57-59.

[6] 李平,朱大奎. 波浪在黄河三角洲形成中的作用[J]. 海洋地质与第四纪地质,1997,**17**(2):39-45.

[7] 樊社军,虞志英,金谬. 淤泥质岸滩侵蚀堆积动力机制及剖面模式 ——以连云港地区淤泥质海岸为例 I. 波浪和潮流[J]. 海洋学报,1997,**19**(3):66-76.

[8] JTJ213-98,海港水文规范[S].

[9] Wells J T. Suspension and transportation of fluid mud by solitary like waves[A]. American Society of Civil Engineers. Process of 16th Coastal Engineering Conference(2) [C]. New York:American Society of Civil Engineers. 1978. 1 932-1 952.

Sediment movement on the silty coast during a storm

BIAN Shu-hua, HU Ze-jian, CHI Wan-qing, LIU Jian-qiang

(First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Oct., 26, 2005

Key words: silt; storm; sediment movement; waves

Abstract: The sediment distribution and movement law are studied based on the filed observation and measurements of current, suspension and load sediment before and after a storm on Wuhaozhuang coast of the abandoned Yellow River Delta. And it is found that the sediment movement is consistent with the action of waves.

(本文编辑:刘珊珊)